

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 39 26 859 C 2

⑤ Int. Cl. 5:
B 23 K 26/00
B 23 K 26/04

②1 Aktenzeichen: P 39 26 859.4-34
②2 Anmeldetag: 15. 8. 89
④3 Offenlegungstag: 5. 7. 90
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 18. 4. 91

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1
30.12.88 DE 38 44 296.5

⑦3 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

⑥2 Teil in: P 39 43 523.7

⑦2 Erfinder:
Beyer, Eckhard, Dr.-Ing.; Petring, Dirk, Dipl.-Phys.,
5100 Aachen, DE; Abels, Peter, Dipl.-Ing. (FH), 5110
Alsdorf, DE; Herziger, Gerd, Prof. Dr.-Ing., 5106
Roetgen-Rott, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 34 24 825 A1
DD 2 37 271 A1

DE-DS: »Technische Rundschau«, 1988, H. 37,
S. 44-49;

Th. Rudlaff, F. Dansinger, »Verschleißschutz mit
Lichtpartielles Härten mit CO₂-Lasern«;

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Schneiden oder Einlochen insbesondere metallischer Werkstücke mit
Laserstrahlung

DE 39 26 859 C 2

DE 39 26 859 C 2

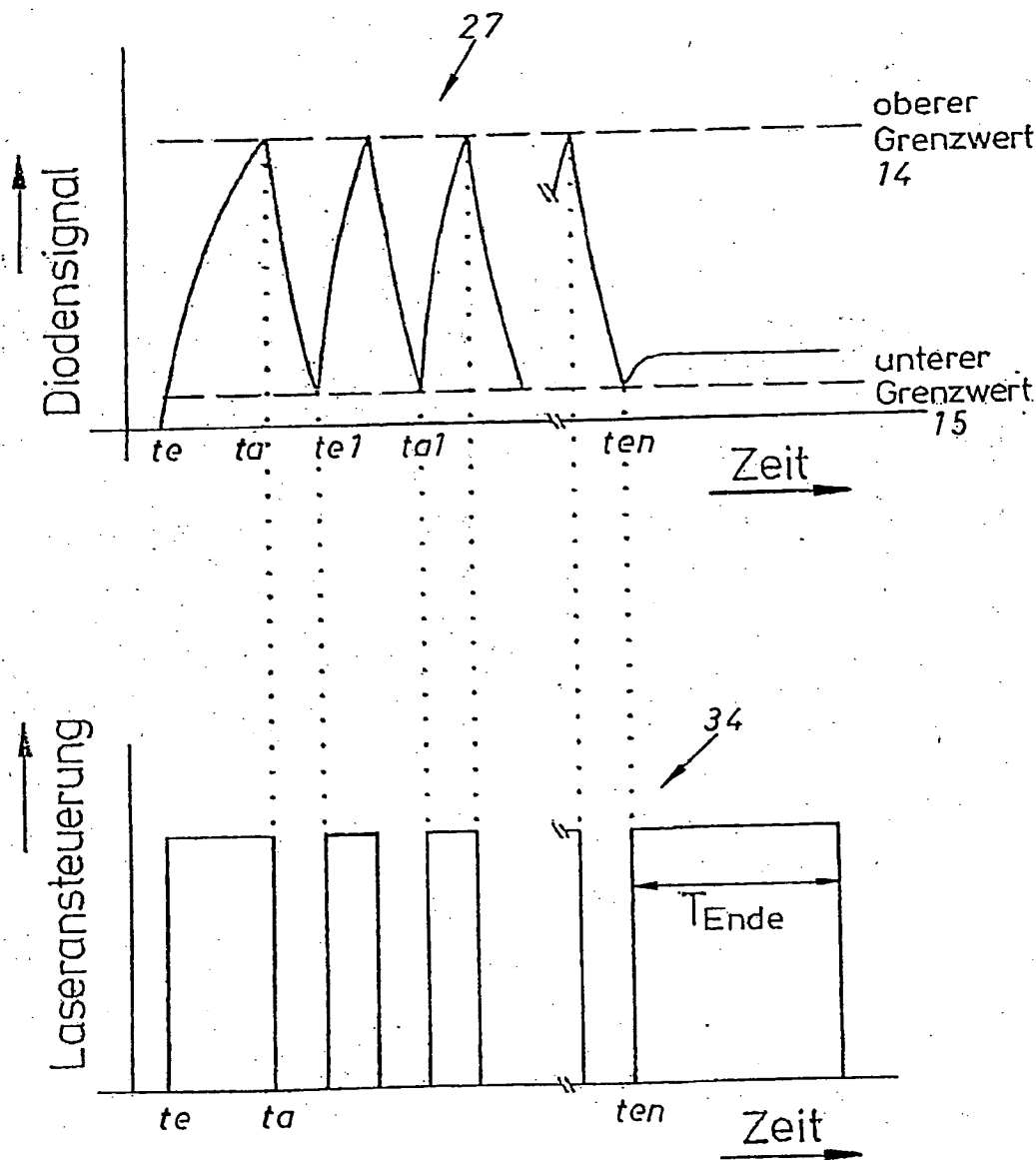


FIG. 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Schneiden oder Einlochen insbesondere metallischer Werkstücke, mit Laserstrahlung, bei dem die Bearbeitungsstelle des Werkstücks mit einem Strahlungsdetektor überwacht wird, unter dessen Mitwirkung die Intensität der Laserstrahlung bei Erreichen eines oberen Grenzwertes reduziert und bei Erreichen eines unteren Grenzwertes gesteigert wird.

Ein Verfahren mit den vorgenannten Verfahrensschritten, die jedoch nicht speziell zum Schneiden oder Einlochen angewendet werden, ist aus der DE 34 24 825 A1 bekannt. Bei diesem bekannten Verfahren wird mit laserinduziertem Plasma gearbeitet. Der obere Grenzwert ist diejenige Laserintensität, bei der eine laserinduzierte Detonationswelle erzeugt wird. Der untere Grenzwert ist diejenige Laserintensität, die zur Erzeugung eines Oberflächenplasmas mindestens benötigt wird. Der bekannte Strahlungsdetektor überwacht plasmazuführende, physikalische Größen, beispielsweise die Intensität der Plasmaleuchtdichte. Mit Hilfe des Meßergebnisses wird die Laserintensität als Regelgröße durch geeignete Modulation im Sinne der Aufrechterhaltung der Plasmabildung unter Vermeidung einer unerwünschten Detonationswelle geregelt. Die Temperatur der Bearbeitungsstelle ist nicht als Regelgröße geeignet, um die Laserintensität im Sinne der Vermeidung einer Detonationswelle zu regeln.

Aus der DE-DS "Technische Rundschau", 37/88, S. 44 bis 48 ist es zum Laserstrahlhärten bekannt, daß die Oberflächentemperatur auf dem Werkstück durch ein Pyrometer gemessen wird und über einen Regelkreis die Laserleistung so nachgeführt wird, daß die Temperatur immer knapp unter der Schmelzgrenze bleibt. Bei diesem Verfahren wird zwar mit dem als Pyrometer ausgebildeten Strahlungsdetektor die im Bereich der Bearbeitungsstelle herrschende Werkstücktemperatur durch Erfassung der Wärmestrahlung gemessen. Für die Regelung der Laserleistung wird auch ein oberer Grenzwert benutzt, nämlich die Schmelztemperatur, jedoch ist das bekannte Verfahren zum Schneiden, Einlochen oder Abtragen nicht geeignet, weil diese Bearbeitungsverfahren das Schmelzen des Werkstoffs erfordern, das bei dem bekannten Verfahren durch den Einsatz der Schmelztemperatur als oberer Grenzwert für die Regelung der Laserleistung ausgeschlossen ist.

Aus der DE-DS "Laser und Optoelektronik", 1986, S. 55 bis 60 ist ein Laserschneiden mit gepulster Strahlleistung im quasistationären Zustand bekannt, wobei die Temperatur der Bearbeitungsstelle jedoch nicht quasistationär verläuft. Es treten vielmehr Temperaturschwankungen auf, je nachdem welche Verfahrensparameter eingestellt werden. Es ist nicht ersichtlich, daß dabei vorgegebene Temperaturgrenzen eingehalten werden sollen.

Aus der DD 2 37 271 A1 ist es bekannt, die Oberflächentemperatur der Bearbeitungsstelle zu messen, um dementsprechend die Laserleistung od. dgl. zu steuern. Die Verwendung von Grenzwerten bei einer solchen Steuerung ist nicht angesprochen. Bei der aus dieser Druckschrift bekannten Vorrichtung ist ein Lochspiegel vorhanden, der von der Bearbeitungsstelle reflektierte Wärmestrahlung seitlich auf einen Detektor ablenkt. Wegen dieser seitlichen Ablenkung muß der Spiegel ungleichachsig zum Laserstrahl angeordnet werden, so daß er einen vergrößerten Freiraum zwischen einem den Laserstrahl fokussierenden Element und dem

Werkstück bedingt. Andererseits beträgt der Freiraum z. B. beim Schneiden nur wenige Millimeter, so daß der bekannte Lochspiegel wenig geeignet erscheint. Darüber hinaus dient der bekannte Lochspiegel nicht dazu, den Laserstrahl auf die Bearbeitungsstelle zu richten, sondern sein Loch ermöglicht lediglich den Durchtritt des Laserstrahls zur Bearbeitungsstelle.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß dem Regelungs- bzw. einem Einstellungsprozeß der Laserstrahlintensität anstelle von physikalischen Größen, die dem Zustand des laserinduzierten Plasmas über der Werkstückbearbeitungsstelle entsprechen, Meßwerte zugrunde gelegt werden, die mit dem Bearbeitungsvorgang unmittelbar korrelieren.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß mit dem Strahlungsdetektor die im Bereich der Bearbeitungsstelle herrschende Werkstücktemperatur durch Erfassung der Wärmestrahlung gemessen wird, daß der obere Grenzwert eines vorbestimmbaren Temperaturbereichs einem Temperaturwert zwischen der Verdampfungstemperatur und der Schmelztemperatur des Metalls oder einem Temperaturwert entsprechend der Zersetzungstemperatur bei Kunststoff entspricht, daß der untere Grenzwert dieses vorbestimmbaren Temperaturbereichs einem Temperaturwert entsprechend der Schmelztemperatur des Metalls, der Erweichungstemperatur des Kunststoffs oder der Zündtemperatur eines reaktiven Schneidgases entspricht, und daß die Laserstrahlung bei Erreichen des oberen Grenzwerts abgeschaltet und bei Erreichen des unteren Grenzwerts wieder eingeschaltet wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die von der Bearbeitungsstelle ausgehende Wärmestrahlung als Meßgröße zum Regeln benutzt. Die Wärmestrahlung ist temperaturabhängig, d. h. bei bestimmten Temperaturen wird Wärme bzw. Licht ganz bestimmter Wellenlänge erzeugt. Tritt Wärmestrahlung dieser Wellenlänge mit bestimmter Intensität auf, so kann davon ausgegangen werden, daß die Bearbeitungsstelle eine ganz bestimmte durch die Wellenlänge und ihre Intensität charakterisierte Temperatur hat. Bei dieser Temperatur liegt für eine bestimmte Werkstückgeometrie ein bestimmtes Bearbeitungsergebnis vor, beispielsweise eine bestimmte, noch annehmbare Schnittqualität. Diese, den oberen Grenzwert bestimmende obere Temperatur wird jeweils empirisch bestimmt, je nach Vorgaben, wie die bereits angesprochene Werkstückgeometrie, die Schnittqualität, die Schnittgeschwindigkeit, der Werkstoff od. dgl. Auch der untere Grenzwert eines vorbestimmten Temperaturbereichs kann als untere Temperatur dementsprechend durch eine Wärmestrahlung ganz bestimmter Wellenlänge und Intensität definiert werden.

Es ist für das erfindungsgemäße Verfahren von Bedeutung, insbesondere für dessen einfache Durchführung, daß die Reduzierung bzw. die Steigerung der Intensität der Laserstrahlung durch einfaches Ein- und Abschalten erreicht werden kann, also mit Maßnahmen, die praktisch keinen schaltungsmäßigen Aufwand erfordern.

Der vorangesprochene Temperaturbereich wird derart vorbestimmt, daß der obere Grenzwert bei metallischen Werkstücken zwischen der Verdampfungstemperatur und der Schmelztemperatur liegt, und daß der untere Grenzwert beim Schmelzbearbeiten etwa gleich der Schmelztemperatur und beim Bearbeiten mit reaktivem Schneidgas im Bereich der Zündtemperatur liegt.

In Ausgestaltung der Erfindung wird das Verfahren so durchgeführt, daß der Vorschub des Laserstrahls beim Schneiden zwischen dem beim Erreichen des oberen Grenzwertes durchgeführten Ausschalten und dem beim Erreichen des unteren Grenzwertes durchgeführten Einschalten der Laserstrahlung erfolgt, wobei die Schneidflecken des Laserstrahls auf dem Werkstück einander entsprechend einer vorbestimmten Rauhtiefe der Schnittflanken des Werkstücks überlappen. Der Vorschub wird dazu über die sich einstellende Pulsfrequenz bzw. das Tastverhältnis gesteuert.

Damit ein Einlochvorgang möglichst bald abgebrochen werden kann, wird das Verfahren so durchgeführt, daß die Bearbeitung beim Einlochen beendet wird, wenn der obere Grenzwert nach einer vorbestimmten Zeit nicht erreicht ist. Grundlage hierfür ist die Erkenntnis, daß das Erreichen einer bestimmten, das Einlochen bewirkenden Temperatur bei einer bestimmtem Werkstückgeometrie innerhalb einer vorgegebenen Zeit zu erwarten ist, deren Überschreitung anzeigt, daß der Laserstrahl das Werkstück nunmehr durchbohrt hat und daher ein weiteres Aufschmelzen nicht mehr stattfinden kann.

Vorteilhafterweise wird kontinuierliche Laserstrahlung bei Erreichen der Grenzwerte ein- und abgeschaltet. Ein derartiger Betrieb mit kontinuierlicher Laserstrahlung ist für das einfache Ab- und Einschalten der Laserstrahlung bei Erreichen der Grenzwerte besonders vorteilhaft.

Vorteilhaft ist es, daß die Überwachung der bei der Bearbeitung vom Werkstück abgegebenen Wärmestrahlung vertikal zum Werkstück und gleichachsig mit der Laserstrahlung erfolgt. Dadurch ergibt sich eine stets ordnungsgemäße Positionierung der Meßstelle im Bereich der Bearbeitungsstelle. Vor allem ist jedoch der Vorteil gegeben, daß Platzprobleme vermieden werden, weil die Meßvorrichtung bei Konturschnitten nicht mitbewegt werden muß oder ein mit der Meßvorrichtung verbundener Meßfühler nicht in der Nähe der Bearbeitungsstelle des Werkstücks angeordnet werden muß. Vielmehr kann die Wärmestrahlung von dem ohnehin vorhandenen Strahlführungssystem ohne weiteres an eine zur Auskopplung der Wärmestrahlung aus dem Laserstrahl geeignete Stelle geleitet werden.

Vorteilhaft ist es des weiteren, wenn eine Grenzwertkorrektur im gleichen Sinn zu einer Änderung der relativen Vorschubgeschwindigkeit der Bearbeitung erfolgt. Es kann dann beispielsweise erreicht werden, daß im Bereich von Bewegungsänderungen, also beispielsweise im Fall einer relativen Bewegungsumkehr des Laserstrahls ein zu großes Abtragen von Werkstoff vermieden wird, insbesondere um eine Überschreitung des Regelbereichs der Abtragsregelung zu vermeiden oder diese zu ergänzen.

Eine Vorrichtung zur Überwachung der Bearbeitung ist dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl mit einem Lochspiegel auf die Bearbeitungsstelle gerichtet ist, hinter dessen in Richtung des zur Bearbeitungsstelle gelenkten Strahlabschnitts ausgerichtetem Loch eine Fotodiode als Strahlungsdetektor angeordnet ist, dem ein Bandpaßfilter vorgeordnet ist. Zum Auskoppeln der Wärmestrahlung aus dem Laserstrahl ist der Lochspiegel mit seinem Loch nämlich so angeordnet, daß er mittig zur Intensitätsverteilung des Laserstrahls liegt und damit die größtmögliche Wärmestrahlungsintensität für ein möglichst großes Meßsignal erbringt.

Der Laserstrahl weist einen Donat-Mode auf und das Loch des Lochspiegels ist im Bereich der geringen

Strahlungsintensität des Strahlquerschnitts angeordnet. Die in der Mitte zumindest verringerte Intensitätsverteilung des Donat-Mode gestattet es, die von der Bearbeitungsstelle herrührende Wärmestrahlung weitgehend unbeeinträchtigt messen zu können.

Eine weitere Vorrichtung zur Überwachung der Bearbeitung ist dadurch gekennzeichnet, daß die von der Bearbeitungsstelle ausgehende Wärmestrahlung durch einen die Laserstrahlung reflektierenden, die Wärmestrahlung jedoch durchlassenden Spiegel bedarfsweise durch einen Bandpaßfilter und eine Sammellinse auf einen als Fotodiode ausgebildeten Strahlungsdetektor gerichtet ist. Die Anordnung eines teiltransmittierenden Spiegels ist baulich besonders einfach.

Eine dritte Vorrichtung zur Überwachung der Bearbeitung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung durch das Loch eines Scraperspiegels auf die Bearbeitungsstelle eingestrahlt ist, und daß die von dieser ausgehende Wärmestrahlung von dem Spiegel durch einen Bandpaßfilter und eine Sammellinse auf den als Fotodiode ausgebildeten Strahlungsdetektor gerichtet ist. Der Scraperspiegel sammelt großflächig die außerhalb des Laserstrahlquerschnitts auftretende reflektierte Wärmestrahlung und lenkt diese zum Strahlungsdetektor hin um.

Der Bandpaßfilter erlaubt es in allen vorbeschriebenen Anwendungsfällen, von der Bearbeitungsstelle ausgehende Wärmestrahlung unerwünschter Wellenlänge abzufangen und auch etwa auftretende Streustrahlungen und/oder Reflexionen von Laserstrahlung aus dem Bearbeitungsbereich nicht zur Einwirkung und damit zur Verfälschung des Meßergebnisses durch den Strahlungsdetektor kommen zu lassen.

Eine Vorrichtung, mit der die vorbeschriebenen Überwachungsvorrichtungen vorzugsweise verwendet werden können, ist dadurch gekennzeichnet, daß sie zum Einlochen und/oder Schneiden des Werkstücks eine den Laser ein- und ausschaltende Ablaufsteuerung hat, die mit einer die Bearbeitungsart sowie den Beginn und das Ende der Bearbeitung bestimmenden CNC-Steuereinheit funktionsmäßig verbunden und von einem Trigger beaufschlagt ist, an den der Detektor sowie den oberen und den unteren Grenzwert bestimmende Geber angeschlossen sind.

Die Erfindung wird anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine diagrammatische Darstellung des Meßergebnisses eines Strahlungsdetektors und der Laseransteuerung, jeweils in der Abhängigkeit von der Zeit,

Fig. 2 ein Blockschaltbild einer Steuereinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 eine Strahlführung mit Strahlungsdetektor,

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Überwachungseinrichtung mit einem Scraperspiegel,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines mehrschichtigen Abtrags von Werkstoff,

Fig. 6 die Abtragtiefe a in Abhängigkeit von der Zeit t beim Abtragen der Lagen in einem Werkstück der Fig. 5,

Fig. 7 eine der Fig. 1 oben ähnliche Darstellung zur Erläuterung der Grenzwertkorrektur, und

Fig. 8 eine der Fig. 2 ähnliche Darstellung mit einem Blockschaltbild einer Steuereinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Abtrags.

Gemäß Fig. 3 wird ein Werkstück 10 mit einem Laserstrahl 11 geschnitten. Die Schneidstelle ist mit 12 bezeichnet, so daß der ungeschnittene Bereich des Werkstücks 10 mit Diagonalstrichen versehen ist, wäh-

rend die freiliegenden Schnittflanken 17 ungekennzeichnet bleiben. Diese Flächen sind im Idealfall völlig glatt. Der Laserstrahl 11 erzeugt an der Bearbeitungsstelle 12 auf der Oberfläche 10' des Werkstücks 10 einen Schneidfleck 18, der die Breite der Schnittfuge und deren Schnittfront bestimmt. Die Größe des Schneidflecks 18 wird durch eine im Strahlengang gelegene Fokussierlinse 23 bestimmt, beispielsweise eine ZnSe-Linse. Nahe der Bearbeitungsstelle 12 ist eine Schneidgasdüse 24 mit einem Durchlaß 25 für den Laserstrahl und in nicht dargestellter Weise zugeleitetes reaktives Schneid- und/oder Inertgas angeordnet.

Der Laserstrahl 11 hat einen Donat-Mode, d.h. seine Intensität ist etwa gemäß dem in Fig. 3 oben dargestellten Gitterbild radial verteilt. Dementsprechend ist der Laserstrahl 11 in Fig. 3 nur im Bereich seiner größten Intensitäten geschwärzt dargestellt. Aus Fig. 3 ist dementsprechend ersichtlich, daß der zentrale Bereich des Laserstrahls 11 keine bzw. eine nur sehr geringe Intensität aufweist, so daß hier Platz für von der Bearbeitungsstelle 12 ausgehende Wärmestrahlung 16 ist. Diese Wärmestrahlung wird von der Bearbeitungsstelle 12 durch die Linse 23 zunächst einem Umlenkspiegel 26 und dann einem Lochspiegel 12 zugeleitet, durch dessen Loch 21 sie austritt, einen Bandpaßfilter 22 durchsetzt und auf einen Strahlungsdetektor 13 trifft, der beispielsweise als Fotodiode ausgebildet ist.

Das Loch 21 ist in der Richtung 20 des zwischen den Spiegeln 26, 21 angeordneten Strahlabschnitts 11' gerichtet und vom Durchmesser her so gewählt, daß es ausgeschlossen ist, daß vom Laser kommende Strahlung direkt durch das Loch 21 in Richtung auf den Strahlungsdetektor 13 gelangen kann. Der Lochspiegel 21 kann unter Wegfall des Umlenkspiegels 26 auch so angeordnet werden, daß der Strahlabschnitt 11' direkt durch die Linse 23 auf die Bearbeitungsstelle 12 trifft, sofern auf den Lochspiegel 19 entsprechend seitlich eingestrahlt wird.

Die Einwirkung des Laserstrahls 11 auf die Bearbeitungsstelle 12 bewirkt ein Ansteigen der Temperatur des Werkstückmaterials, wenn der Laser zum Zeitpunkt t_e eingeschaltet wird. Unterstellt man idealisierend, daß der Laser von t_e bis t_a mit einer vorbestimmten Intensität eingeschaltet ist, so resultiert daraus die in Fig. 1 idealisierte Anstiegskurve des Strahlungsdetektor- bzw. Diodensignals. Der Anstieg erfolgt bis auf einen oberen Grenzwert 14, also bis auf einen Temperaturwert, bei dem die Bearbeitungsstelle 12 durch Emission einer durch Wellenlänge und Intensität bestimmten Wärmestrahlung erkennen läßt, daß das Werkstückmaterial eine bestimmte Temperatur erreicht hat. In diesem Augenblick t_a wird der Laser abgeschaltet, so daß sich die Bearbeitungsstelle 12 abkühlt und das Diodensignal demgemäß verringert wird, bis der untere Grenzwert 15 erreicht ist. In diesem Augenblick t_1 wird der Laser wieder eingeschaltet usw. Es ergibt sich eine Folge von bei eingeschaltetem und bei ausgeschaltetem Laser auftretenden Meßwerten des Strahlungsdetektors 13 in Abhängigkeit von der Zeit zwischen den Grenzwerten 14, 15 gemäß Fig. 1. Die zugehörigen Laserimpulse bzw. Einschaltzeiten des Lasers ergeben sich aus dem unteren Teil dieser Figur. Es ist dargestellt, daß die erste Einschaltdauer $t_a - t_e$ zum allgemeinen Aufheizen etwas größer ist, als die nachfolgenden Einschaltdauern, z.B. $t_1 - t_2$.

Außerdem ist in Fig. 1 dargestellt, daß das Einschalten des Lasers zu einem Zeitpunkt t_n keine Erhöhung des Meßwerts des Strahlungsdetektors 13 zur Folge hat.

Vielmehr ist nach einer vorbestimmten Zeit TE noch stets derselbe Meßwert vorhanden bzw. gar gesunken. Die Ursache hierfür ist, daß im Bereich des Laserstrahls kein aufzuheizendes Material mehr vorhanden ist, beispielsweise weil ein Einlochvorgang im Sinne eines Durchbohrens abgeschlossen ist. Ein derartiges Meßergebnis wird dazu benutzt, das Einlochen abzubrechen oder vom Einlochbetrieb bei stillstehendem Laserstrahl auf einen kontinuierlichen oder schrittweise erfolgenden Vorschub des Laserstrahls umzuschalten.

Aus Fig. 2 ist die funktionsmäßige Verknüpfung der wichtigsten Bestandteile einer Vorrichtung zum Bearbeiten ersichtlich. Die von dem Detektor 13 im Verlaufe der Zeit ermittelten Meßwerte 27 werden verstärkt an einen Schmitt-Trigger 28 weitergeleitet, der außerdem mit Gebern 29 und 30 für den oberen Grenzwert 14 sowie für den unteren Grenzwert 15 verbunden ist. Der Schmitt-Trigger 28 gibt dem Meßwertverlauf 27 entsprechend unter Berücksichtigung der Grenzwerte 14, 15 Schaltimpulse 31 für eine Ablaufsteuerung 32, von der aus der Laser 33 angesteuert wird, und zwar mit den aus Fig. 1 ersichtlichen Ansteuerimpulsen 34.

Die Ablaufsteuerung 32 ist außerdem mit der CNC-Steuereinheit 35 funktionsmäßig verbunden. Letztere bestimmt beispielsweise die Betriebsart der Ablaufsteuerung 32, gibt also die Befehle entweder zum Einlochbetrieb oder zum Schneidbetrieb der Ablaufsteuerung 32. Insoweit ist beispielsweise unterschiedlich, daß im Einlochbetrieb eine Abschalt- und/oder Umschaltautomatik für den Fall vorhanden sein muß, daß das Loch durchgängig ist. In diesem Fall meldet die Ablaufsteuerung 32 das Ende des Einlochens an die Steuerung 35. Auch die Startbefehle für das Einlochen und das Schneiden und der Abschaltbefehl für Schneidbetrieb gehen von der Steuereinheit 35 aus. Letztere beeinflusst auch die Schneidgassteuerung 36, also die Zufuhr von z.B. Sauerstoff beim Einlochbetrieb. Außerdem dient die CNC-Steuereinheit 35 dazu, das sogenannte Handling 37 zu beeinflussen, also die erforderlichen Stellbewegungen beim Einlochen und/oder Schneiden.

Die vorbeschriebenen Verfahrensschritte und Vorrichtungen eignen sich auch zum Einlochen und Schneiden von nichtmetallischen Werkstoffen. Beispielsweise können Holz, Hartschaumstoff, Kunststoff, Glas, Keramiken und Baumwollgewebe geschnitten werden. An die Stelle der oberen und/oder unteren Grenzwerte, z.B. an die Stelle der Schmelz- oder Zündtemperatur o.dgl. treten für diese Werkstoffe maßgebliche Erfahrungswerte, wie beispielsweise die Zersetzungstemperatur und/oder die Erweichungstemperatur bei Kunststoff.

Zur Erzeugung der Laserstrahlung werden Kohlendioxid-, Kohlenmonoxid-, Festkörper-, Eximer- oder Argonlaser verwendet.

Fig. 3 zeigt eine weitere Möglichkeit, die von der Bearbeitungsstelle 12 reflektierte Wärmestrahlung zu überwachen, und zwar durch Verwendung eines teiltransmittierenden Spiegels 26, der also die Laserstrahlung des Laserstrahls 11 voll reflektiert, jedoch die Wärmestrahlung 16 durchläßt, so daß diese durch einen bedarfsweise vorhandenen Bandpaßfilter 32 hindurch und/oder eine nicht dargestellte Sammellinse auf den als Fotodiode ausgebildeten Strahlungsdetektor 13 einwirken kann.

Fig. 4 zeigt einen beispielsweise von einem CO₂-Laser erzeugten Laserstrahl 11, der durch das Loch 38 eines Scraperspiegels 39 in Richtung auf das Werkstück 10 gestrahlt wird. Eine Sammellinse 23 fokussiert die Laserstrahlung und erzeugt auf der Werkstückoberflä-

che 10' den Strahlfokus 18. Die beim Schneiden vom Werkstück 10 ausgehende Wärmestrahlung 16 trifft auf den Ring des Scraperspiegels 39 und wird von diesem im Winkel zum Laserstrahl 11 abgestrahlt. Danach wird die Wärmestrahlung 16' durch einen Bandpaßfilter 22 einer Sammellinse 40 zugeführt, welche die Wärmestrahlung auf den als Fotodiode ausgebildeten Strahlungsdetektor 13 fokussiert.

In Fig. 5 ist ein Werkstück 10 dargestellt, in das eine quaderförmige Vertiefung 42 mit einer Gesamtabtragstiefe a_{Soll} mittels Laserstrahlung eingearbeitet werden soll. Wenn diese Abtragstiefe vergleichsweise groß ist, kann sie nicht mit einem einzigen Arbeitsgang erreicht werden. Vielmehr muß der abzutragende Bereich des Werkstücks 10 mehrfach bearbeitet werden, so daß der Werkstoff lagenweise entfernt wird. In Fig. 5 sind diese Lagen exakt gleich groß und gleich dick übereinander angeordnet. Es versteht sich jedoch, daß die Lagen infolge unterschiedlicher Ausgestaltung der Vertiefung 42 auch abweichend ausgebildet sein können, also unterschiedlich groß und unterschiedlich dick.

Fig. 6 zeigt für den Fall der Fig. 5 die Abtragstiefe a über der Zeit t und es ist ersichtlich, daß die Abtragstiefe infolge zeitlich aufeinander folgende Arbeitsschritte, deren Dauer durch t_1, t_2 usw. gekennzeichnet ist, in gleich großen Beträgen gesteigert wird. Das bedeutet, daß das Abtragen des Werkstoffs mit jeweils vorbestimmter Strahlungsintensität erfolgt. Es ist ersichtlich, daß nach dem Abtragen der $n-1$ Lage die Anwendung einer ungeänderten Strahlungsintensität zu einer Überschreitung der Sollabtragstiefe führen würde. Die n Lage muß daher so abgetragen werden, daß zumindest der obere Grenzwert verringert wird. Das wird anhand der Fig. 7 erläutert.

In Fig. 7 zeigt das Diagramm die Abhängigkeit des Diodensignals einer die Abtragstiefe messenden Einrichtung 41 von der Zeit t für die Arbeitsschritte der Fig. 5, 6. Es ist ersichtlich, daß bei den Arbeitsschritten t_1, t_2 bis t_{n-1} mit einem ersten oberen Grenzwert 14' gearbeitet wird, sowie mit einem ersten unteren Grenzwert 15'. Zwischen diesen Grenzwerten werden während eines Abtragintervalls, z.B. t_1 eine Anzahl von Laserlichtimpulsen vorbestimmter Intensität angewendet. Die infolgedessen zugeführte Strahlungsenergie bestimmt sich durch die Grenzwerte 14', 15'. Zum Abtragen der n Lage sind die Grenzwerte gesenkt.

Die zugeführte Energie bestimmt sich nun durch den zweiten oberen Grenzwert und durch den zweiten unteren Grenzwert. Beide Grenzwerte sind kleiner. Die zugeführte Energie ist geringer, so daß die Sollabtragstiefe nicht überschritten wird.

Anhand der Fig. 5 bis 7 wurde ein schrittweises Abtragen von Werkstoff beschrieben. Es ist jedoch auch möglich, daß die Sollabtragstiefe mit einem einzigen Arbeitsschritt erreicht werden kann, insbesondere wenn sie gering ist. In diesem Fall muß je nach Größe der Sollabtragstiefe ebenfalls eine Beeinflussung der Grenzwerte 14', 15' erfolgen. Beides kann durch ein während des Abtragens erfolgreiches Messen der Abtragstiefe erreicht werden. Dafür ist eine Einrichtung 41 vorhanden, die in Fig. 3 schematisch dargestellt wurde. Sie mißt in einem Winkel zum auf das Werkstück 10 fallenden Laserstrahl 11. Eine solche Messung kann aber auch gleichachsig erfolgen. Die Einrichtung ist beispielsweise ein nach dem Triangulationsprinzip arbeitender optischer Abstandsensor. Die Abstandsmessung erfolgt entweder nach einem werkstoffabtragenden Arbeitsschritt oder währenddessen. Letzteres ist erforderlich,

wenn lediglich ein einziger werkstoffabtragender Arbeitsschritt erfolgt, wie oben beschrieben.

Die abstandsmessende Einrichtung 41 ist funktionsmäßig in eine in Fig. 8 blockschaltmäßig dargestellte Regeleinrichtung eingebunden, die der Steuereinrichtung der Fig. 2 ähnlich ist. Die Bearbeitungsstelle 12 des Werkstücks 10 wird in derselben Weise wie beim Schneid- und Einlochrückbetrieb von einem Detektor 13 überwacht, von dem aus ein verstärktes Signal an einen Schmitt-Trigger 28 gegeben wird, der unter Beachtung der oberen und unteren Grenzwerte 14', 15' der Geber 29, 30 dem Meßwertverlauf gemäß Fig. 7 entsprechende Schaltimpulse 31 an eine Abtragsregelung 32' zur Regelung des Lasers 33 mittels der Regelimpulse 34 weitergibt. Zusätzlich wird die Bearbeitungsstelle 12 jedoch noch von der Abstands-Meßeinrichtung 41 beobachtet, so daß eine Abtragsmessung erfolgt, deren Ergebnis der Abtragsregelung 32' zur Verfügung gestellt wird.

Die Abtragsregelung 32' ist gemäß Fig. 8 des weiteren mit einer CNC-Steuereinheit 35' funktionsmäßig verbunden, die die Betriebsart, den Sollabtrag a_{Soll} , die relative Vorschubgeschwindigkeit sowie den Beginn und das Ende der Bearbeitung bestimmt, in dem sie Signale "Abtragen" an die Abtragsregelung 32' gibt und von dieser den Istabtrag gemeldet bekommt, sowie das Signal "Sollabtrag erreicht", so daß das Signal "Abtragen" gestoppt werden kann. Außerdem kann die CNC-Steuerung 35' mit Befehlen "Messen" den Betrieb der Einrichtung 41 steuern, und zwar entweder gleichzeitig mit dem Befehl "Abtragen", also sozusagen on-line oder danach, also sozusagen off-line.

Patentsprüche

1. Verfahren zum Schneiden oder Einlochen insbesondere metallischer Werkstücke (10) mit Laserstrahlung (11), bei dem die Bearbeitungsstelle (12) des Werkstücks (10) mit einem Strahlungsdetektor (13) überwacht wird, unter dessen Mitwirkung die Intensität der Laserstrahlung bei Erreichen eines oberen Grenzwertes (14) reduziert und bei Erreichen eines unteren Grenzwertes (15) gesteigert wird, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Strahlungsdetektor (13) die im Bereich der Bearbeitungsstelle (12) herrschende Werkstücktemperatur durch Erfassung der Wärmestrahlung (16) gemessen wird, daß der obere Grenzwert (14) eines vorbestimmbaren Temperaturbereichs einem Temperaturwert zwischen der Verdampfungstemperatur und der Schmelztemperatur des Metalls oder einem Temperaturwert entsprechend der Zersetzungstemperatur bei Kunststoff entspricht, daß der untere Grenzwert (15) dieses vorbestimmbaren Temperaturbereichs einem Temperaturwert entsprechend der Schmelztemperatur des Metalls, der Erweichungstemperatur des Kunststoffs oder der Zündtemperatur eines reaktiven Schneidgases entspricht, und daß die Laserstrahlung bei Erreichen des oberen Grenzwerts (14) abgeschaltet und bei Erreichen des unteren Grenzwerts (15) wieder eingeschaltet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorschub des Laserstrahls (11) beim Schneiden zwischen dem beim Erreichen des oberen Grenzwertes (14) durchgeführten Ausschalten und dem beim Erreichen des unteren

Grenzwertes (15) durchgeführten Einschalten der Laserstrahlung erfolgt, wobei die Schneidflecken (18) des Laserstrahls (11) auf dem Werkstück (10) einander entsprechend einer vorbestimmten Rauhtiefe der Schnittflanken (17) des Werkstücks (10) 5 überlappen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung beim Einlochen beendet wird, wenn der obere Grenzwert (14) nach einer vorbestimmten Zeit (TE) nicht erreicht ist. 10

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß kontinuierliche Laserstrahlung bei Erreichen der Grenzwerte ein- und abgeschaltet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, 15 dadurch gekennzeichnet, daß die Überwachung der bei der Bearbeitung vom Werkstück (10) abgegebenen Wärmestrahlung (16) vertikal zum Werkstück (10) und gleichachsig mit der Laserstrahlung erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 20 dadurch gekennzeichnet, daß eine Grenzwertkorrektur im gleichen Sinn zu einer Änderung der relativen Vorschubgeschwindigkeit der Bearbeitung erfolgt.

7. Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken (10) mit Laserstrahlung, nach einem der in den Ansprüchen 1 bis 6 angegebenen Verfahren, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (11) mit einem Lochspiegel (19) auf die Bearbeitungsstelle (12) ge- 25 richtet ist, hinter dessen in Richtung (20) des zur Bearbeitungsstelle (12) gelenkten Strahlabschnitts (11') ausgerichtetem Loch (21) eine Fotodiode als Strahlungsdetektor (13) angeordnet ist, dem ein Bandpaßfilter (22) vorgeordnet ist. 30

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (11) einen Donat-Mode aufweist und das Loch (21) des Lochspiegels (19) im Bereich der geringen Strahlungsintensität des Strahlquerschnitts angeordnet ist. 35

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Bearbeitungsstelle ausgehende Wärmestrahlung durch einen die Laserstrahlung reflektierenden, die Wärmestrahlung jedoch durchlassenden Spiegel (26) bedarfsweise 40 durch einen Bandpaßfilter (22) und eine Sammellinse auf einen als Fotodiode ausgebildeten Strahlungsdetektor (13) gerichtet ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, 45 dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung durch das Loch (38) eines Scraperspiegels (39) auf die Bearbeitungsstelle (12) eingestrahlt ist, und daß die von dieser ausgehende Wärmestrahlung von dem Spiegel (39) durch einen Bandpaßfilter (22) und eine Sammellinse (40) auf den als Fotodiode 50 ausgebildeten Strahlungsdetektor (13) gerichtet ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, 55 dadurch gekennzeichnet, daß sie zum Einlochen und/oder Schneiden des Werkstücks (10) eine den Laser (33) ein- und abschaltende Ablaufsteuerung (32) hat, die mit einer die Bearbeitungsart sowie den Beginn und das Ende der Bearbeitung bestimmenden CNC-Steuereinheit (35) funktionsmäßig verbunden und von einem Trigger (28) beaufschlagt ist, an den der Detektor (13) sowie den oberen und den unteren Grenzwert (14, 15) bestim- 60 mende Geber (29, 30) angeschlossen sind.

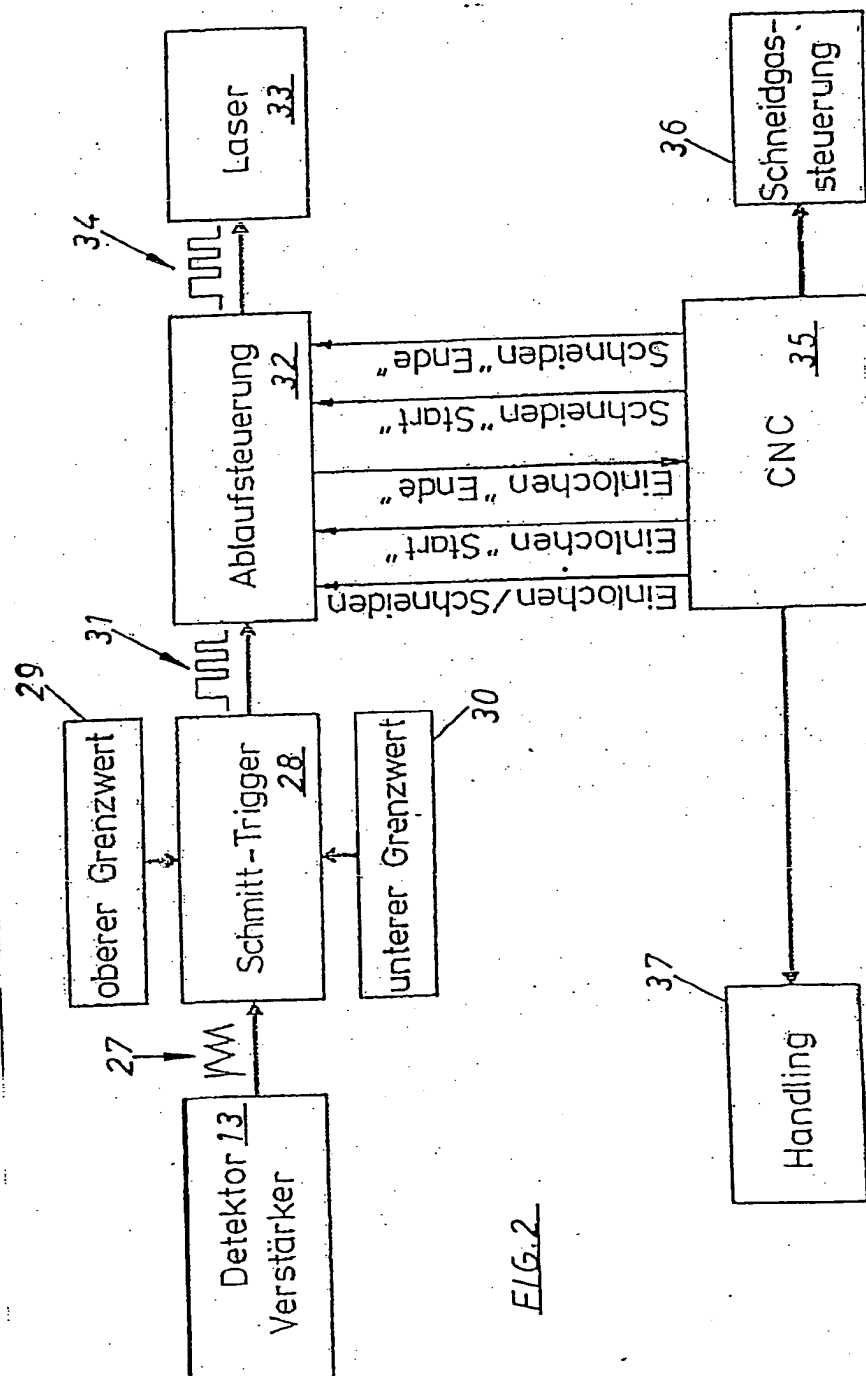


FIG. 2

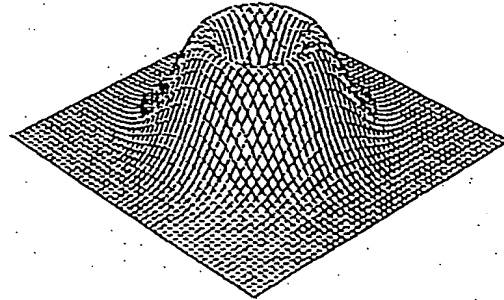


FIG. 3

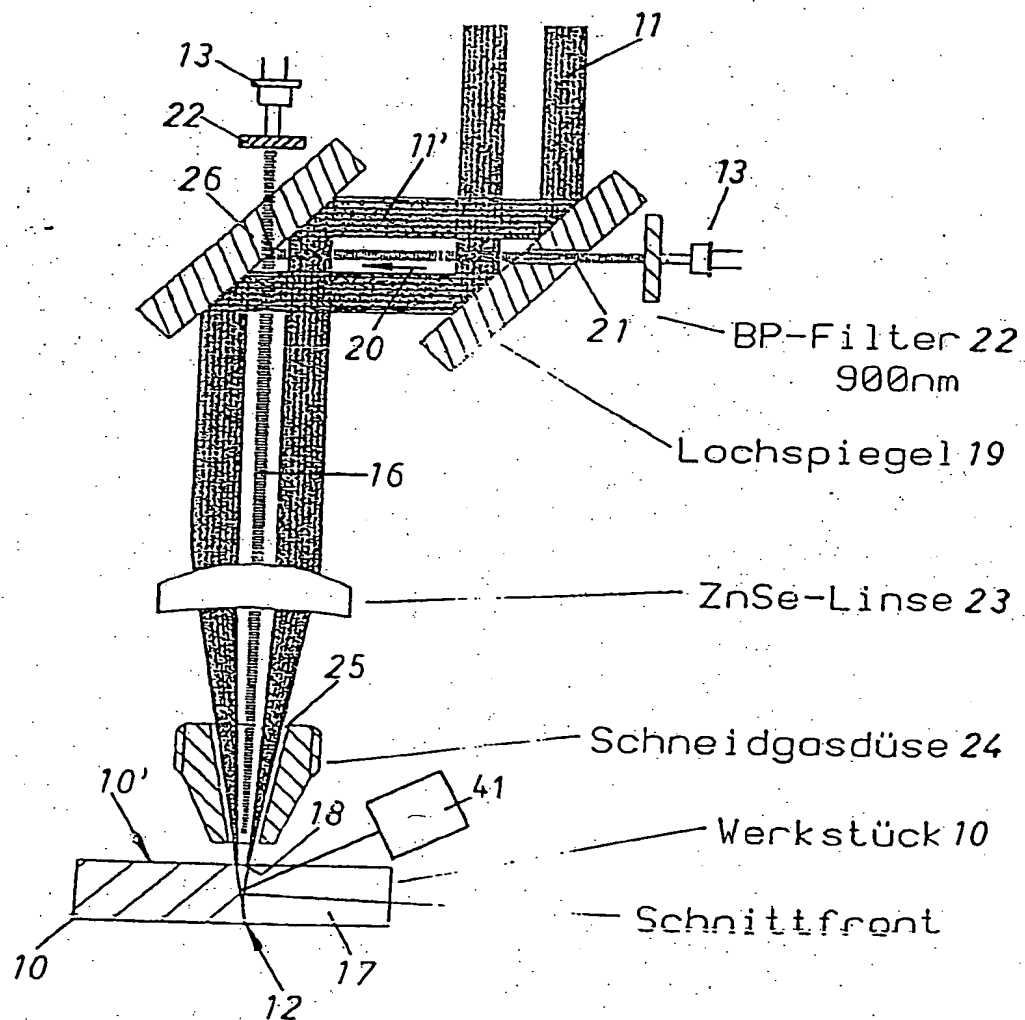
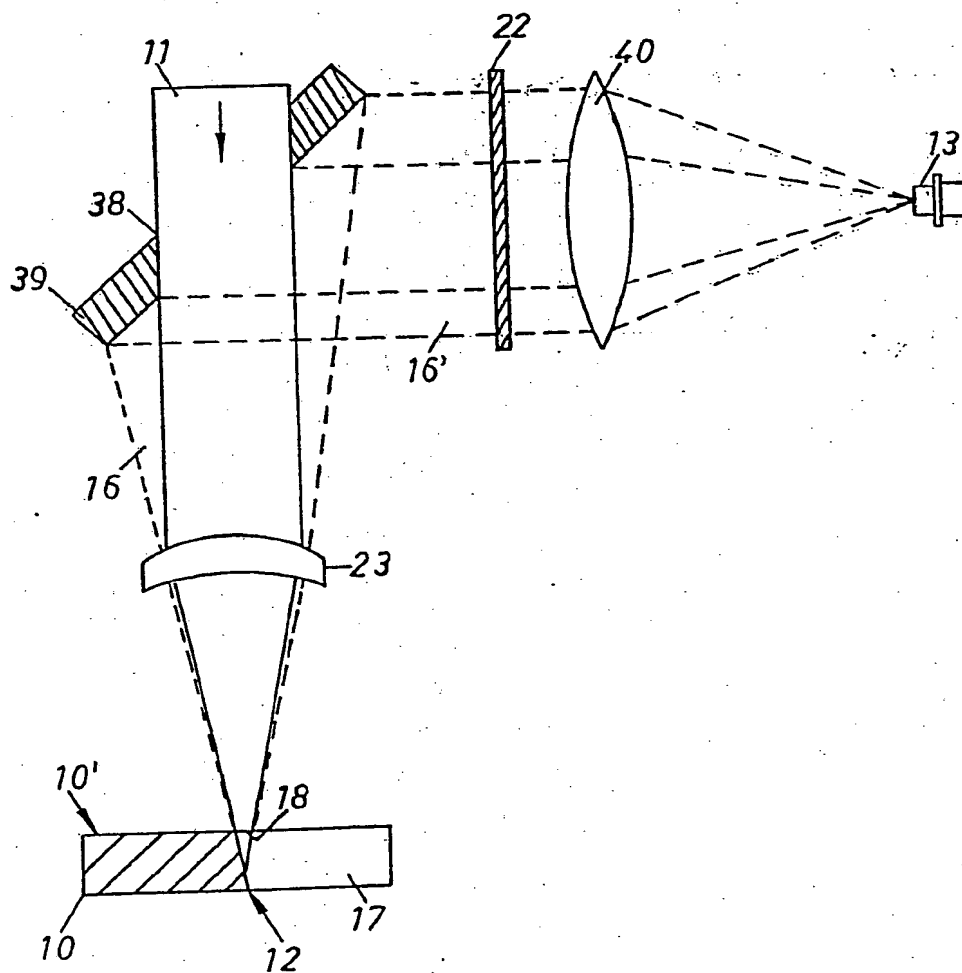
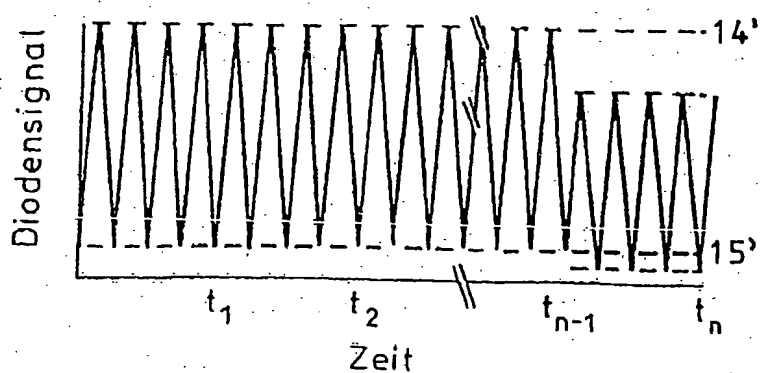
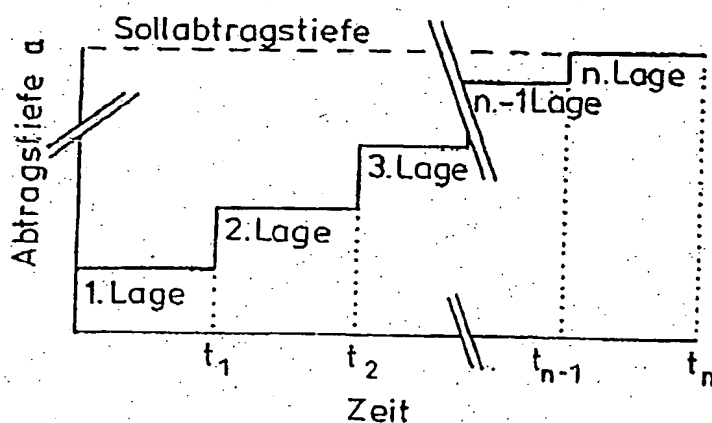
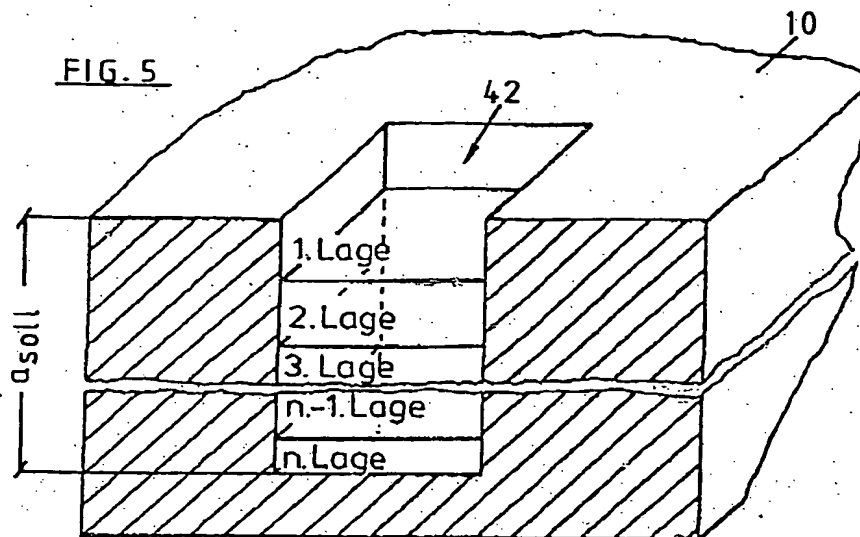


FIG. 4





1. oberer Grenzwert

2. oberer Grenzwert

FIG. 7

1. unterer Grenzwert

2. unterer Grenzwert

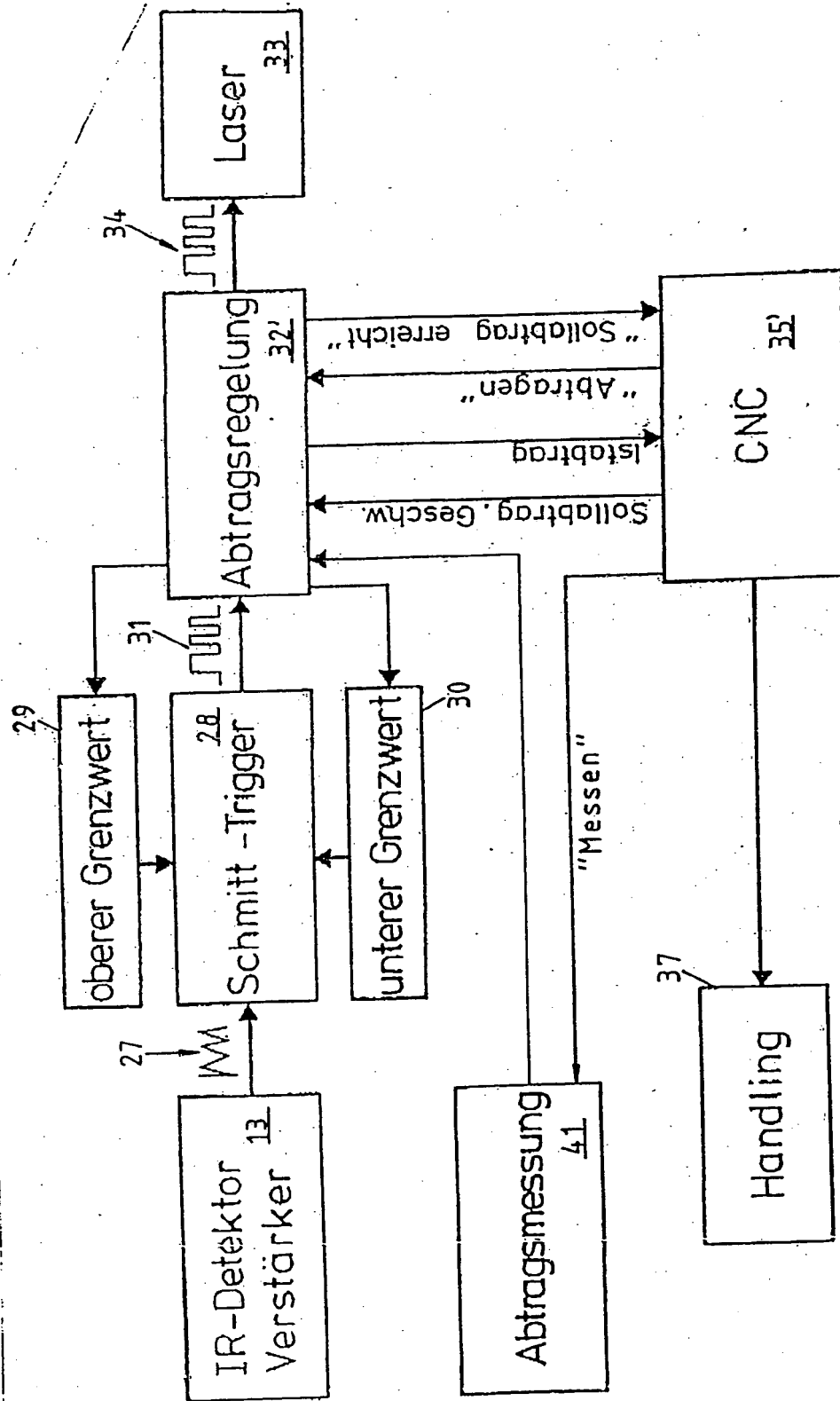


FIG. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)